

[15]

高速気流中における糸挙動モデルの提案

工学研究科 太田貴士

1. 緒言

エアサクシオンガンは、円管内を流れる高速気流と糸の間に働く摩擦力により、糸を吸引する。このとき、円管内で、高速気流に旋回成分を与える操作が施されていて、そのような操作のパラメーターは、経験的に決められているようである。高速気流中糸の挙動の物理的な知見に基づいて、機器の性能を向上させる余地があると考えられるが、現在のところ、糸の挙動のメカニズムは明らかになっていない。そこで、流体力学的な観点から本現象のメカニズムを説明するための基礎研究として、気流から流体力学的な作用を受ける糸の挙動を表現するモデルを提案する。さらに、数値シミュレーションで糸周りの流れの様子を再現して、そのモデルに必要な情報を得る。

2. 高速気流中糸の挙動モデル

円管内を流れる高速気流中の糸の挙動を考えるために、図 1 のような状況を想定する。糸は、速さ u_0 で円管に吸引されて、円管内を流速 U の気流とともに移動している。円管内の糸は、螺旋状になっていて、一定の回転角速度 ω で回転している。さらに、図のように、回転角度 θ を定義して、ある位置 θ における螺旋形状の半径を R 、糸の張力を T とする。このとき、流体力学的な摩擦力とその他の力の釣り合いから考えて、各位置における糸の張力 T と半径 R は、以下のように表される。

$$T = \left(\frac{\pi d}{2\omega\sqrt{\rho}} \int_0^\theta \tau_w(s) d\theta \right)^2, \quad R = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \cdot \frac{\sin \phi}{\omega} \quad (0 \leq R \leq R_{max})$$

$$s = \int_0^\theta \frac{R}{\sin \phi} d\theta, \quad \cos \phi = \frac{U}{\sqrt{T/\rho} + u_0}$$

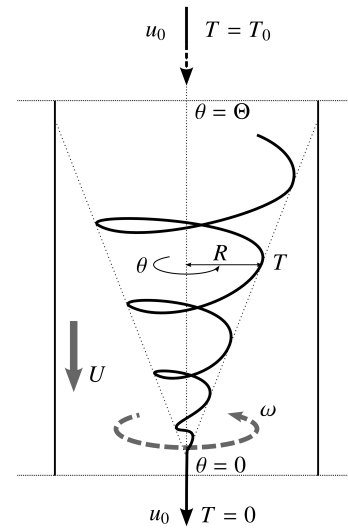


Fig.1 気流中の糸挙動モデルの設定

ここで、 ρ は糸の線密度、 d は糸の直径、 s は糸の長さによる位置、 ϕ は各位置における糸の傾き角である。また、 $\tau_w(s)$ は、位置 s の糸要素が気流から受ける摩擦応力である。

3. 数値シミュレーションによる軸方向糸周りの高速気流の様子

糸が気流から受ける摩擦力を見積もるために、糸を想定した円柱周りの軸方向に沿う流れを数値シミュレーションで再現した。実際の条件にあわせるために、糸直径と一様流速に基づくレイノルズ数 $Re_d = 756.8$ 、マッハ数 $Ma = 0.1706$ を設定した。図 2 に壁面摩擦係数 C_f の変化を示す。流れに従って境界層が発達しているが、平板境界層が乱流に遷移する臨界レイノルズ数を越えても、糸周りの流れでは、層流の特徴が維持されている。したがって、上のモデル中の摩擦応力は、層流を想定することになる。今後、糸挙動モデルによりエアサクシオンガンの吸引性能を向上させるために、糸周りの高速気流が層流に維持される原因と乱流遷移の実現可能性を調べる必要がある。

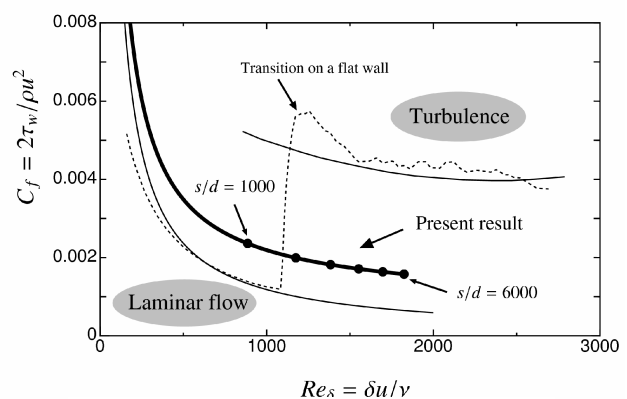


Fig.2 軸方向円柱周り流れの壁面摩擦係